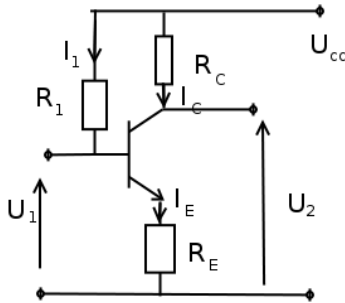


Rozwiązania zadań z kol z dn.30.01.2014

Michał Urbański

Zad.1. Wyznaczenie punktu pracy, wzmocnienia i rezystancji wejściowej wzmacniacza na tranzystorze bipolarnym pnp



Rysunek 1: Schemat do zadania 1.

Dla układu z obok wyznacz:

- Opornik R_1 jeśli prąd emitera ma wynosić $I_E = 1mA$,
- Wzmocnienie napięciowe dla składowych zmiennych
- Rezystancję wejściową układu, dla składowych zmiennych napięcia.

Dane są: rezystancja wejściowa tranzystora $h_{11} = 0,5k\Omega$, $R_C = 2,5k\Omega$, $\beta = 200$, $R_E = 0,1k\Omega$, $U_{CC} = 5V$, $U_{BE} = 0,7V$.

Rozwiązanie

ad. a) Prąd bazy $I_B = \frac{I_E}{\beta}$, z prawa Kirchoffa dla oczka R_1 , tranzystor, R_E : $I_B R_1 + U_{BE} + I_E R_E = U_{CC}$ z tego:

$$R_1 = \frac{U_{CC} - U_{BE} - I_E R_E}{I_E} (\beta + 1) \quad (1)$$

Po podstawieniu danych $R_1 = 4,2k\Omega \cdot 201 \approx 840k\Omega$

ad. b) Wzmocnienie napięciowe wyznaczyć można rozważając małe przyrosty napięć i prądów. Wzmocnienie napięciowe definiujemy jako $K_U = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$, dla zerowego prądu wyjściowego: $I_{wy} = 0$. Dla obwodu wejściowego

$$\Delta U_1 = \Delta U_{BE} + \Delta I_E R_E \quad (2)$$

ponieważ $\Delta U_{BE} = h_{11} \Delta I_B$, więc

$$\Delta U_1 = h_{11} \Delta I_B + (\beta + 1) R_E \Delta I_B \quad (3)$$

Dla obwodu wyjściowego $U_{CC} = I_C R_C + U_2$ czyli dla przyrostów $U_2 = -\Delta I_E R_C = \beta \Delta I_B R_C$ Równanie to jest prawdziwe jeśli założymy, że rezystancja wyjściowa tranzystora jest nieskończona, czyli konduktancja $h_{22} = 0$. Wzmocnienie napięciowe:

$$K_U = -\frac{R_C}{\frac{h_{11}}{\beta} + \frac{\beta}{\beta+1} R_E} \approx -\frac{R_C}{R_E} \quad (4)$$

Po podstawieniach $K_U = -25$.

ad. c) Rezystancja wejściowa $R_{we} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_{we}}$

Przyrost napięcia wejściowego opisany jest równaniem (3). prąd wejściowy jest sumą składowych: $I_{WE} = -I_1 + I_B$, wobec tego należy policzyć konduktancję (przewodność) wejściową:

$$\frac{1}{R_{we}} = \frac{-\Delta I_1 + \Delta I_B}{\Delta U_1} = \frac{-\Delta I_1}{\Delta U_1} + \frac{\Delta I_B}{\Delta U_1} = \quad (5)$$

$$\frac{1}{R_1} + \frac{\Delta I_B}{h_{11} \Delta I_B + (\beta + 1) R_E \Delta I_B} = \quad (6)$$

$$= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{h_{11} + (\beta + 1) R_E} \quad (7)$$

Człon pierwszy w równaniu (6) wynika z równania: $U_{CC} = I_1 R_1 + U_1$, co dla przyrostów daje $\Delta U_1 = -R_1 \Delta I_1$. Człon drugi wynika z równania (3).

Po podstawieniu danych należy zauważyć, że: $R_1 = 840k\Omega$ a $h_{11} + (\beta + 1) R_E = 0,5k\Omega + 201 \cdot 0,1k\Omega \approx 201 \cdot 0,1k\Omega = 20,1k\Omega$, czyli człon drugi decyduje o rezystancji wejściowej $R_{we} \approx 20k\Omega$.

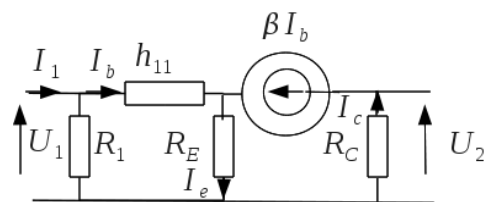
UWAGA

Jeśli wzór (5) dla rezystancji zapiszemy w postaci: $R_{we} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_{we}} = \frac{\Delta U_{BE} + \Delta I_E R_E}{-\Delta I_1 + \Delta I_B}$ to mimo poprawności tego wzoru nie widać co dalej zrobić, jest to typowa pułapka heurystyczna prowadząca w ślepy tor myślenia. Trzeba dla ΔU_1 zapisać dwa wzory $\Delta U_1 = -\Delta I_1 R_1$ i $\Delta U_1 = \Delta U_{BE} + \Delta I_E R_E$. Pierwszy gdy wykonujemy dzielenie przez ΔI_1 a drugi gdy dzielimy przez ΔI_B .

Istotą połączenia równoległego jest rozplyw prądu z węzła względem którego obserwujemy rezystancję. Wzór na rezystancję (lub lepiej konduktancję) połączenia równoległego oporników wynika z tego, że natężenie prądu jest sumą prądów płynących przez te oporniki. W celu wyznaczenia rezystancji należy więc posługiwać się formułą dla odwrotności rezystancji, czyli: konduktancja = (suma prądów)/napięcie. Formalnie jest wszystko jedno czy napiszemy $R = \frac{U}{I}$ czy $G = \frac{I}{U}$, ale z punktu widzenia metodologii rozwiązywania zadań różnica jest zasadnicza: wzór na konduktancję prowadzi do łatwego rozwiązania zadania, a wzór na rezystancję prowadzi w ślepią uliczkę.

Schemat zastępczy

Zadanie można rozwiązać wykorzystując schemat zastępczy dla składowych zmiennych. Zastosujemy przybliżenie, że konduktancja wyjściowa jest bardzo duża. Składowe zmienne I_e , I_c i I_b odpowiadają przy-

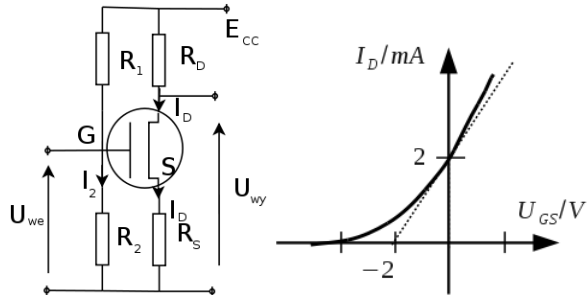


Rysunek 2: Schemat zastępczy dla małych sygnałów układu z rys 1

rostom prądów. Z bilansu prądów: $I_{we} = -I_1 + I_b$

oraz $I_e = I_b + \beta I_b$, otrzymujemy (7). Natomiast mając napięcie wejściowe $U_{we} = I_b + I_e R_E$ i wyjściowe $U_{wy} = -I_c R_C$ otrzymujemy wzór na wzmacnienie (4).

Zad.2. Wzmacnienie i punkt pracy wzmacniacza z tranzystorem polowym Dla układu z



Rysunek 3: Schemat i charakterystyka przejściowa do zadania 2.

rys obok wyznacz a) wartości oporników R_1, R_D , Tak aby punkt pracy wynosił $I_D = 2mA, U_{GS} = 0V$. b) wzmacnienie napięciowe dla małych sygnałów zmiennych. Dane są $E_C = 12V, R_S = 0,5k\Omega, R_2 = 10k\Omega$, Narysuj na wykresie $I_D = f(U_{GS})$ metodę wyznaczania punktu pracy. Wartość nachylenia charakterystyki przejściowej dla $U_{GS} = 0V$ i $I_D = 2mA$ wynosi $g = 1mA/V$.

Rozwiązanie

Ad a). Wyznaczenie punktu pracy. Z oczka obejmującego napięcie wyjściowe:

$$E_{CC} = I_D R_D + U_{DS} + I_D R_S \quad (8)$$

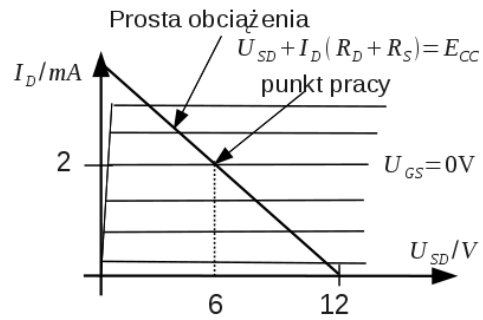
Zakładamy, że prąd źródła równy jest prądowi drenu. Trzeba założyć wartość napięcia U_{DS} , zakładamy, że układ ma być symetryczny czyli $U_{DS} = \frac{E_{CC}}{2} = 6V$, wtedy na opornikach R_D i R_S jest w sumie również $6V$: $I_D R_D + I_D R_S = E_{CC} - U_{DS} = 6V$, czyli

$$R_D = \frac{E_{CC} - U_{DS} - I_D R_S}{I_D} = \frac{12V - 6V - 2mA \cdot 0,5k\Omega}{2mA} = 2,5k\Omega \quad (9)$$

Wybór wartości napięcia U_{DS} można przedstawić na charakterystyce wyjściowej $I_D(U_{DS})$. Charakterystyka ta jednoznacznie wynika z charakterystyki przejściowej danej na rysunku w treści zadania. Trzeba wyznaczyć rezystor R_1 tak aby napięcie na bramce wynosiło $0V$, bowiem z charakterystyki widać, że dla $I_D = 2mA$ mamy $U_{GS} = 0V$, czyli $I_D(0V) = 2mA$. Z dzielnika napięcia: $E_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{GS} + I_D R_S$. Po przekształceniu otrzymujemy:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{E_{CC}}{U_{GS} + I_D R_S} - 1 \quad (10)$$

Podstawiając dane $\frac{R_1}{R_2} = 11$. Ponieważ $R_2 = 10k\Omega$ więc $R_1 = 110k\Omega$.



Rysunek 4: Uproszczona charakterystyka wyjściowa. Założono, że konduktancja wyjściowa jest bardzo mała (poziome linie charakterystyki - idealne źródło prądowe). Wykres $I_D(U_{DS})$ wynika wprost z danych na wykresie $I_D(U_{GS})$ podanym w treści zadania. Prosta obciążenia opisana jest równaniem (8)

Ad. b) W celu wyliczenia wzmacnienia napięciowego mamy dwa równania (wejściowe i wyjściowe):

$$E_{CC} = I_D R_D + U_{WY} \quad (11)$$

$$U_{WE} = U_{GS} + I_D R_S \quad (12)$$

Jak widać równanie wejściowe (8) trzeba zastąpić postacią (11) w której jest zależność jedynie od prądu I_D .

Równania te w postaci przyrostów napięć mają postać:

$$0 = \Delta I_D R_D + \Delta U_{WY} \quad (13)$$

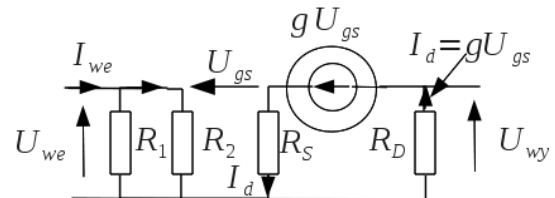
$$\Delta U_{WE} = \Delta U_{GS} + \Delta I_D R_S \quad (14)$$

Wzmacnienie napięciowe:

$$K_U = \frac{\Delta U_{WY}}{\Delta U_{WE}} = -\frac{R_D}{\frac{1}{g} + R_S} = -\frac{2,5}{1,5} = -\frac{5}{3} \quad (15)$$

gdzie $g = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} = 1 \frac{mA}{V}$.

Wzmacnienie napięciowe można wyznaczyć wykorzystując schemat zastępczy dla prądów zmiennych.



Rysunek 5: Schemat zastępczy wzmacniacza z tranzystorem polowym. Założone jest, że prąd bramki jest zerowy i konduktancja wyjściowa jest zerowa (nie ma na schemacie). Zmienne sygnały mają małe litery w indeksach.

Na podstawie schematu: $U_{wy} = -I_d R_D$ oraz $U_{we} = U_{gs} + I_g R_S$. Z tych równań $K_u = \frac{U_{wy}}{U_{we}}$ i otrzymujemy (15).